



Е.Е. Швамм

# ФИЗИКА ДРЕВЕСИНЫ

Екатеринбург  
2015

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инновационных технологий  
и оборудования деревообработки

Е.Е. Швамм

# **ФИЗИКА ДРЕВЕСИНЫ**

Учебно-методическое пособие  
для выполнения лабораторных работ  
для обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология  
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»  
всех форм обучения

Екатеринбург  
2015

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.  
Протокол № 2 от 9 октября 2015 г.

Рецензент – профессор, канд. техн. наук Н.А. Кошелева

Редактор Е.Л. Михайлова  
Оператор компьютерной верстки Е.Е. Швамм

Подписано в печать 26.10.15		Поз. 13
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,86	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## **РАБОТА 1. Определение числа годовичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годовичном слое**

*Цель:* изучить метод определения числа годовичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины, а также влияние этих показателей на плотность и прочность.

*Аппаратура и материалы:*

- линейка измерительная с погрешностью измерения не более 0,5 мм;
- микроскоп инструментальный или измерительная лупа с точностью измерения до 0,1 мм;
- образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон от 10 до 20 мм.

Для оценки качества древесины по ее внешнему виду используются такие характеристики макроструктуры древесины, как ширина годовичных слоев, степень равнослойности древесины, содержание поздней древесины в годовичном слое, равноплотность древесины, а также величина и особенности распределения структурных неровностей.

Из перечисленных показателей макроструктуры наибольшее практическое значение имеют число годовичных слоев в 1 см и содержание поздней древесины в годовичном слое, метод определения которых регламентируется ГОСТ 16483.18-72\* «Древесина. Метод определения числа годовичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годовичном слое».

### **Методика выполнения работы**

Перед выполнением работы образец должен быть подготовлен следующим образом: на одном из торцов в строго радиальном направлении с помощью резака зачищается полоска шириной 5—8 мм так, чтобы годовичные слои были отчетливо видны.

#### *Определение числа годовичных слоев*

Ширина годовичных слоев определяется числом годовичных слоев, расположенных на отрезке длиной 1 см, отмеренном в радиальном направлении на торцовом срезе.

На зачищенном участке торцовой поверхности в строго радиальном направлении проводится карандашом тонкая линия, на которой отмечают границы крайних целых годовичных слоев (рис.1). Подсчитывают число годовичных слоев  $N$  на участке длиной  $l$ . Расстояние  $l$  между отметками измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Число годовичных слоев  $n$  в 1 см вычисляется с точностью до 0,5 по формуле

$$n = \frac{N}{\ell},$$

где  $N$  — общее число целых годовичных слоев;  
 $\ell$  — протяжение годовичных слоев по радиальному направлению, см.

#### *Определение содержания поздней древесины*

На отмеченном участке длиной  $\ell$  в каждом годовичном слое измеряют ширину поздней древесины  $\delta$  с погрешностью не более 0,1 мм.

Для получения требуемой точности измерения пользуются измерительной оптической линзой или инструментальным микроскопом с ценой деления 0,1 мм. При измерении лупу ставят на подготовленную поверхность образца так, чтобы шкала с делением была освещена и расположена параллельно карандашной линии.

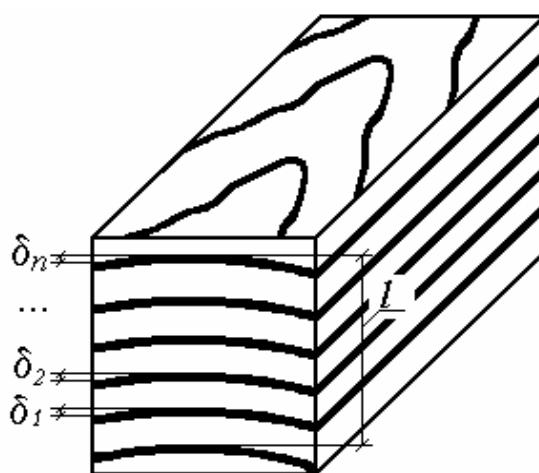


Рис. 1. Определение числа годовичных слоев и содержания поздней древесины

Установив оптическую линзу по четкости изображения и совместив нулевое деление шкалы с границей поздней древесины первого годовичного слоя, измеряют ее ширину (см. рис.1).

Измерив таким образом позднюю древесину всех годовичных слоев на отмеченном отрезке  $\ell$ , суммируют полученные результаты и получают общую ширину поздней древесины  $\sum_{i=1}^N \delta_i$ , см.

Содержание поздней древесины  $m$  вычисляется в процентах с точностью до 1 % по формуле

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i}{\ell} 100,$$

где  $\sum_{i=1}^N \delta_i$  – общая ширина поздней древесины, мм;

$l$  – протяжение годичных слоев по радиальному направлению, мм.

Полученные данные можно сравнить с соответствующими показателями, приведенными в табл. 1.

Содержание поздней древесины у лиственных рассеяннососудистых пород не определяется, так как граница между ранней и поздней древесиной неразличима.

Таблица 1 – Число годичных слоев в 1 см и содержание поздней древесины

Порода	Число годичных слоев в 1 см	Процент поздней древесины
Лиственница сибирская	13,5	29
Сосна обыкновенная	11,8	26
Ель обыкновенная	12,1	21
Пихта сибирская	4,5	24
Дуб	5,5	65
Бук	6,5	-
Береза	5,5	-
Осина	5,4	-

Содержание поздней древесины оказывает влияние как на физические, так и на механические свойства древесины. Произвести проверку этой зависимости по результатам работ 1 и 6. Процентное содержание поздней древесины является более надежным, чем ширина годичных слоев, показателем и весовых, и прочностных характеристик древесины.

**Сделать вывод** о влиянии на прочность содержания поздней древесины.

## **РАБОТА 2. Определение влажности древесины прямым и косвенным методами**

*Цель:* ознакомиться с основными методами определения влажности.

*Аппаратура и материалы:*

- весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г;
- сушильный шкаф, обеспечивающий высушивание древесины при температуре  $103 \pm 2$  °С;
- эксикатор с гигроскопическим веществом, высушивающим воздух до состояния, близкого к абсолютно сухому;
- образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм;
- электровлагомер.

В древесине растущего дерева, в срубленной древесине на различных стадиях ее технологической обработки практически всегда находится какое-то количество воды. Необходимость определения влажности древесины вызвана тем, что с изменением ее в пределах от абсолютно сухого состояния до предела насыщения клеточных стенок происходит изменение механических свойств, формы и размеров древесины.

Определение влажности является обязательным при проведении физико-механических испытаний древесины, при сдаче-приемке лесоматериалов, при использовании древесины в строительстве, в столярно-мебельном и других производствах.

Влажность древесины определяют прямыми и косвенными методами.

Прямые методы основаны на выделении влаги из древесины. Из прямых способов определения влажности древесины распространение получил весовой метод, основанный на измерении массы древесины до и после ее высушивания до абсолютно сухого состояния, поэтому иногда этот метод называют методом высушивания. С помощью этого метода влажность определяют с точностью до 0,1 %.

Весовой метод утвержден в качестве стандартного метода определения влажности древесины ГОСТ 16483.7-71\* «Древесина. Методы определения влажности».

### **Методика выполнения работы**

Очищенные от заусенцев и опилок образцы размерами 20х20х30 мм взвешивают на аналитических весах с погрешностью не более 0,01 г (можно использовать образцы другой формы или пробы из образцов, а также измельченную древесину).

После того как масса  $m$  образца определена, он помещается в сушильный шкаф, в котором поддерживается температура  $103 \pm 2$  °С. В этом шкафу образец выдерживается до постоянной массы  $m_0$ . Установление величины постоянной массы производят путем контрольных взвешиваний.

Первое взвешивание при высушивании мягких пород выполняют не ранее чем через 6 ч после начала высушивания, а при высушивании твердых пород – не ранее чем через 10 ч. Повторные взвешивания выполняют через 2 ч. Высушивание считается законченным, когда разность между последними двумя взвешиваниями будет не более 0,01 г.

Перед каждым взвешиванием вынутые из сушильного шкафа образцы охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе с безводным хлористым кальцием или серной кислотой концентрацией не менее 94 % (плотностью 1,84). Процесс высушивания образца до постоянной массы в этой и последующих работах производится лаборантом, студенты получают сухие образцы на следующее занятие. Результаты взвешивания заносят в табл. 2 (работа 3, с.12).

#### *Определение абсолютной и относительной влажности древесины*

Влажность образцов в процентах вычисляют с округлением не более 1 % по формулам

где  $W_a$  — абсолютная влажность, %;  
 $m_w$  — масса образца до высушивания, г;  
 $m_0$  — масса образца после высушивания (абсолютно сухой древесины), г;

$$W_0 = \frac{m_w - m_0}{m_w} 100 ,$$

$W_0$  — относительная влажность, %.

Различают следующие степени влажности древесины:

*мокрая* — длительное время находившаяся в воде,  $W > 100$  %;

*свежесрубленная* — сохранившая влажность растущего дерева,  $W = 50 \dots 100$  %;

*воздушно-сухая* — выдержанная на открытом воздухе,  $W = 15 \dots 20$  %;

*комнатно-сухая* — долгое время находившаяся в отапливаемом помещении,  $W = 8 \dots 12$  %;

*абсолютно сухая* — высушенная при температуре  $103 \pm 2$  °С,  $W = 0$  %.

Принято также называть древесину влажной, если она содержит только связанную воду, и сырой, если, кроме связанной, содержит и свободную воду.

Косвенные методы определения влажности основаны на измерении показателей физических свойств древесины, которые находятся в зависимости от содержания в ней влаги. Используют эти методы для определения влажности пиломатериалов, заготовок, деталей из древесины. Для этих целей используют влагомеры.



Электроды датчика кондуктометрического влагомера вводят через боковую поверхность образца на полную глубину, располагая их на участках, не имеющих пороков. Делают несколько замеров на различных участках образца и вычисляют среднее арифметическое значение. Пользуясь градуировочными графиками, по среднему арифметическому показаний влагомера определяют влажность древесины.

*Определение максимальной влажности древесины  $W_{max}$*

Способность древесины впитывать капельно-жидкую влагу называется водопоглощением. Предельное количество воды, которое может поглотить древесина, складывается из максимального количества связанной и свободной влаги. Показателем водопоглощения является максимальная влажность древесины, определить которую можно экспериментальным или расчетным способами.

Рассчитать наибольшую влажность при водопоглощении в процентах можно по формуле

$$W_{max} = W_{n.n} + \rho_{\text{в}} \frac{\rho_{\text{д.в}} - \rho_0}{\rho_{\text{д.в}} \rho_0} 100 ,$$

где  $W_{n.n}$  – влажность предела насыщения клеточных стенок,

$$W_{n.n} = 30 \%;$$

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды,  $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$ ;

$\rho_{\text{д.в}}$  – плотность древесинного вещества,  $\rho_{\text{д.в}} = 1,53 \text{ г/см}^3$ ;

$\rho_0$  – плотность абсолютно сухой древесины,  $\text{г/см}^3$  (рассчитывается по формуле, приведенной в работе 4).

**Сделать вывод** о влиянии плотности древесины ( $\rho_0$ ) на ее максимальную влажность  $W_{max}$ , сравнив соответствующие показатели двух образцов — комнатно-сухого и мокрого (табл. 5 работы 4).

### **РАБОТА 3. Определение влажностных деформаций древесины (усушки и коэффициентов усушки)**

*Цель:* ознакомиться с методами определения полной и частичной усушки.

*Аппаратура и материалы:*

- штангенциркуль или микрометр типа МК, обеспечивающие определение размеров образца с погрешностью не более 0,01 мм;
- сушильный шкаф, обеспечивающий высушивание древесины при температуре  $103 \pm 2$  °С;
- эксикатор с гигроскопическим веществом, высушивающим воздух до состояния, близкого к абсолютно сухому;
- образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

Уменьшение линейных размеров и объема древесины при удалении из нее связанной влаги называется *усушкой*. Уменьшение содержания свободной влаги в древесине не вызывает ее усушку. Начинается усушка после того, как влажность древесины при любой температуре становится ниже предела насыщения. Усушка, происходящая при удалении всей связанной влаги, называется *полной*, т.е., чтобы прошла полная усушка, влажность древесины должна снизиться от предела насыщения клеточных стенок до нуля (для определения полной усушки используют образцы с начальной влажностью выше 30 %, т.е. образцы сырой древесины). *Частичная* усушка наблюдается при начальной влажности древесины ниже предела гигроскопичности. Для ее определения используют воздушно-сухую или комнатно-сухую древесину. Мерой усушки является относительная влажностная (несиловая) деформация.

Экспериментально определение усушки производится в соответствии с ГОСТ 16483.37-80\* "Древесина. Метод определения радиальной и тангенциальной усушки и ГОСТ 16483.38-80\* Древесина. Методы определения объемной усушки.

В настоящей работе студент должен определить величины частичной, полной (максимальной) линейной и объемной усушки, соответствующих коэффициентов усушки.

#### **Методика выполнения работы**

Работа выполняется на двух образцах, один из которых имеет начальную влажность, соответствующую комнатно-сырому состоянию, другой – влажность выше предела насыщения клеточных стенок.

Годичные слои на торце образца должны быть параллельны соответствующей паре граней (рис. 2). На половине длины образцов проводят карандашом прямые линии перпендикулярно волокнам древесины. По этим

линиям проводят измерение поперечных размеров образца микрометром (тангенциальный размер –  $a$ , радиальный –  $b$ , длина образца вдоль волокон –  $\ell$  ). После измерения образцы взвешивают для определения влажности. Результаты замеров заносят в табл. 2. Образцы помещают в сушильный шкаф, где они высушиваются до достижения постоянной массы, т.е. до абсолютно сухого состояния. Затем образцы охлаждаются до комнатной температуры в эксикаторе. После высушивания до абсолютно сухого состояния образцы измеряют по тем же линиям и взвешивают. Измерение и взвешивание образцов после сушки необходимо производить быстро, чтобы образец не успел поглотить влагу из окружающего воздуха. Результаты замеров также заносят в табл. 2.

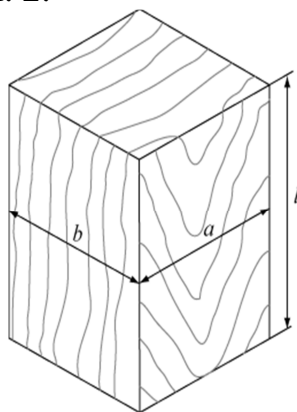


Рис. 2. Образец для определения линейной и объемной усушки

#### *Определение линейной усушки*

Линейную усушку  $\beta$  в процентах вычисляют по формулам:  
для радиального направления

$$\beta_r = \frac{b_w - b_0}{b_w} 100,$$

для тангенциального направления

$$\beta_t = \frac{a_w - a_0}{a_w} 100,$$

где  $a_w, b_w$  – размеры поперечного сечения образца при начальной влажности соответственно в тангенциальном и радиальном направлениях, мм (начальная влажность образца  $W_a$  определяется в работе 2);

$a_0, b_0$  – размеры поперечного сечения этого же образца в абсолютно сухом состоянии соответственно в тангенциальном и радиальном направлениях, мм.

### Определение объемной усушки

Объемную усушку  $\beta_v$  в процентах вычисляют по формуле

$$\beta_v = \frac{V_w - V_0}{V_w} 100,$$

где  $V_w$  и  $V_0$  – объем образца при начальной влажности и в абсолютно сухом состоянии соответственно, мм<sup>3</sup>.

Объем образцов до и после сушки рассчитывается по формулам

$$V = a_w b_w \ell_w, \quad V = a_0 b_0 \ell_0.$$

### Определение коэффициентов усушки

Коэффициент усушки – это величина усушки древесины при снижении количества связанной влаги на 1 % влажности.

Коэффициенты усушки определяются с точностью до 0,01 по формулам

а) коэффициент тангенциальной усушки:

$$K_t = \frac{\beta_t}{W_n - W_k},$$

б) коэффициент радиальной усушки:

$$K_r = \frac{\beta_r}{W_n - W_k},$$

в) коэффициент объемной усушки:

$$K_v = \frac{\beta_v}{W_n - W_k},$$

где  $\beta_r$ ,  $\beta_r$ ,  $\beta_v$  – соответственно усушка тангенциальная, радиальная и объемная, %;

$W_n$  – начальная абсолютная влажность образца ( $W_n$ ), определяется в работе 2 (для сырой древесины  $W_n$  берется в расчетах равной 30 %), %;

$W_k$  – конечная влажность образца (при сушке до абсолютно сухого состояния  $W_k=0$ ), %.

По величине объемной усушки древесные породы можно разделить на 3 группы:

- малоусыхающие ( $K_v \leq 0,40$ ) – ели сибирская и обыкновенная, пихта сибирская, кедр, тополь белый;
- среднеусыхающие ( $0,40 < K_v \leq 0,47$ ) – бук, вяз, липа;
- сильноусыхающие ( $K_v > 0,47$ ) – береза, граб, лиственница, клен.

Все расчеты свести по форме в табл. 3.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета влажности, усушки, коэффициентов усушки, характеристик плотности образцов

1-й образец (комнатно-сухая древесина)				2-й образец (мокрая древесина)			
Масса, г, и размеры, мм,				Масса, г, и размеры, мм,			
до сушки		после сушки		до сушки		после сушки	
$m_w$		$m_0$		$m_w$		$m_0$	
$a_w$		$a_0$		$a_w$		$a_0$	
$b_w$		$b_0$		$b_w$		$b_0$	
$\ell_w$		$\ell_0$		$\ell_w$		$\ell_0$	
$V_w, \text{мм}^3$		$V_0, \text{мм}^3$		$V_w, \text{мм}^3$		$V_0, \text{мм}^3$	

**Сделать выводы** о различии усушки в разных направлениях, сравнив коэффициенты усушки.

## РАБОТА 4. Определение плотности древесины стереометрическим методом

*Цель:* ознакомиться со стереометрическим методом определения плотности древесины.

*Аппаратура и материалы:*

- микрометр или штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,01 мм;
- весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г;
- сушильный шкаф, обеспечивающий высушивание древесины при температуре  $103 \pm 2$  °С;
- эксикатор с гигроскопическим веществом, высушивающим воздух до состояния, близкого к абсолютно сухому;
- образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Часть образцов перед испытанием выдерживалась в помещении с температурой  $20 \pm 2$  °С, часть замачивалась в воде до достижения постоянных размеров.

Плотность древесины характеризуется отношением ее массы к объему.

Плотность древесины является хорошим показателем ее качества, так как она имеет высокий коэффициент корреляции с рядом механических свойств.

Определение плотности древесины производится в соответствии с ГОСТ 16483.1-84 Древесина. Метод определения плотности.

При изучении этого свойства мы будем определять следующие показатели: плотность влажной и абсолютно сухой древесины, плотность при нормализованной влажности, пористость древесины и базисную плотность древесины.

### Методика проведения работы

Плотность древесины определяется стереометрическим способом параллельно с определением усушки. Для подсчета плотности используются величины масс образцов, определенных в работе 2, и размеры тех же образцов из работы 3 (см. табл.2).

*Определение плотности при данной влажности*

Расчет производится по формуле

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w},$$

где  $\rho_w$  – плотность древесины при влажности  $W$ , г/см<sup>3</sup> (с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>) или кг/м<sup>3</sup>;

$m_w$  – масса образца древесины при влажности  $W$ , г или кг (определяется в работе 2);

$V_w$  – объем образца древесины при влажности  $W$ , см<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>  
( $V$  определяется в работе 3).

*Определение плотности при  $W=12\%$*

Древесина в естественном состоянии всегда содержит то или иное количество влаги, и плотность древесины зависит от влажности древесины в момент ее определения. Поэтому для возможности сравнения показателей плотности древесины между собой принято определять их при  $W=12\%$ , которую считают стандартной:

$$\rho_{12} = \rho_w [1 + 0,01 (1 - K_v)(12 - W_a)],$$

где  $\rho_{12}$  – плотность древесины при влажности 12 %, г/см<sup>3</sup> (рассчитывать с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>) или кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_w$  – плотность древесины при влажности  $W$ , г/см<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>;

$K_v$  – коэффициент объемной усушки;

$W_a$  – влажность образца в момент испытаний, % ( $W_a$  определяется в работе 2).

*Определение плотности абсолютно сухой древесины*

Плотность абсолютно сухой древесины характеризует массу древесинного вещества, содержащегося в единице объема древесины при отсутствии в ней влаги.

Расчет производится по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0},$$

где  $\rho_0$  – плотность абсолютно сухой древесины, г/см<sup>3</sup> (с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>) или кг/м<sup>3</sup>;

$m_0$  – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г или кг  
(определяется в работе 2);

$V_0$  – объем образца древесины в абсолютно сухом состоянии, см<sup>3</sup> или м<sup>3</sup> (определяется в работе 3 при расчете усушки).

*Определение пористости древесины*

Пористость древесины представляет собой относительный объем пустот в абсолютно сухой древесине и определяется по формуле с точностью до 1 %:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{д.в}}\right) 100,$$

где  $П$  – пористость древесины, %;

$\rho_0$  – плотность абсолютно сухой древесины, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{д.в}$  – плотность древесинного вещества, в среднем для всех пород 1,53 г/см<sup>3</sup>.

Пористость древесины отечественных пород колеблется в пределах от 40 до 77 %.

### Определение базисной плотности древесины

Базисная плотность древесины выражается отношением массы абсолютно сухого образца  $m_0$  к его объему при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок  $V_{max}$ .

Для определения базисной плотности используются образцы, предварительно выдержанные в воде до постоянных размеров (изменения размеров в одном и том же месте через 3 сут не больше 0,01 мм), т.е. образцы с влажностью выше предела насыщения клеточных стенок или равной ему.

Базисную плотность  $\rho_b$ , в г/см<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>, вычисляют с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup> (1 кг/м<sup>3</sup>) по формуле

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_{max}},$$

где  $V_{max} = V_w$  – объем образца сырой древесины, см<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>;

$m_0$  – масса образца древесины в абсолютно сухом состоянии, г или кг.

Все расчеты свести по форме в табл. 3.

Таблица 3 — Показатели физических свойств комнатно-сухой и мокрой древесины

1-й образец (комнатно-сухая древесина)		2-й образец (мокрая древесина)	
Показатель	Результат расчета	Показатель	Результат расчета
$W_a$		$W_a$	
$W_o$		$W_o$	
$\beta_r$		$\beta_r$	
$\beta_t$		$\beta_t$	
$\beta_v$		$\beta_v$	
$K_r$		$K_r$	
$K_t$		$K_t$	
$K_v$		$K_v$	
$\rho_w$		$\rho_w$	
$\rho_0$		$\rho_0$	
$\rho_{12}$		$\rho_b$	
$\Pi$		$\Pi$	
$W_{max}$		$W_{max}$	



**Сделать выводы:**

- о зависимости плотности от влажности, сравнив соответствующие показатели для комнатно-сухого образца (табл. 4);
- о взаимозависимости пористости и плотности древесины в абсолютно сухом состоянии, сравнив соответствующие показатели для комнатно-сухого и мокрого образцов (табл. 5);
- о зависимости максимальной влажности древесины ( $W_{\max}$  рассчитывается по формуле, приведенной в работе 2) от плотности древесины в абсолютно сухом состоянии, сравнив соответствующие показатели для комнатно-сухого и мокрого образцов (см. табл. 5).

Таблица 4 – Характеристики плотности комнатно-сухого образца

Показатель свойства	$\rho_0$	$\rho_w$	$\rho_{12}$
Значение показателя			

Таблица 5 – Характеристики образцов

Влажностное состояние древесины	Показатели		
	$\rho_0, \text{г/см}^3$	П, %	$W_{\max}, \%$
1-й образец (комнатно-сухая древесина)			
2-й образец (мокрая древесина)			

## РАБОТА 5. Определение плотности древесины гидростатическим методом

*Цель:* ознакомиться с гидростатическим методом определения плотности древесины.

*Аппаратура и материалы:*

- весы с крюком для гидростатического взвешивания и погрешностью взвешивания не более 0,01 г;
- образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Образцы замачивались в воде до достижения влажности 100—130 %.

Способ гидростатического взвешивания принадлежит к числу наиболее надежных и точных способов определения плотности древесины. Принцип этого способа основан на законе Архимеда, согласно которому тело, погруженное в жидкость, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесняемая этим телом жидкость.

При использовании способа гидростатического взвешивания для определения плотности образец древесины взвешивают сначала в воздухе, а затем в жидкости, плотность которой известна. Таким образом, в данном методе плотность древесины определяется только путем взвешивания. По полученным результатам взвешивания подсчитывается плотность.

Для расчета плотности твердого тела в соответствии с теорией гидростатического взвешивания, применима формула

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} (\rho_{\text{ж}} - D) + D,$$

где  $\rho$  — плотность древесины, г/см<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>;

$m_1$  — масса образца древесины при взвешивании в воздухе, г или кг;

$m_2$  — масса образца древесины при взвешивании в воде, г или кг;

$D$  — средняя плотность воздуха во время взвешивания в воздухе и в жидкости, г/см<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>.

Для практических целей можно пренебречь значением  $D$  (средняя плотность воздуха принимается равной 1,2 кг/м<sup>3</sup>), что внесет в результат определения систематическую ошибку, меньшую 0,2 %. В результате окончательная формула для определения плотности образца древесины приобретает следующий вид:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_{\text{ж}}.$$

В качестве жидкости, в которой взвешивают образец древесины, используется дистиллированная вода, значение плотности которой берется в зависимости от температуры.

Для определения плотности древесины гидростатическим методом используются образцы с высокой влажностью (100—130 %), так как при взвешивании в воде образцы с меньшей влажностью будут поглощать во-

ду, что отрицательно скажется на точности результата. Если требуется определить плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, то в качестве среды может быть использована жидкость, не вызывающая набухания древесины (например керосин) или на поверхность образца наносится специальное защитное покрытие, водостойкое и тонкое.

При изучении гидростатического метода определения плотности мы будем определять плотность мокрой древесины (длительное время пролежавшей в воде), а также влажность образцов древесины, так как плотность зависит от влажности.

### Методика проведения работы

Плотность древесины гидростатическим методом определяется параллельно с определением плотности стереометрическим методом на тех же образцах. Результаты взвешивания образцов заносят в табл. 6. Для подсчета плотности используются масса образцов  $m_{\text{взд}} = m_w$ , определенных в работе 3 (см. табл.2).

*Определение плотности при данной влажности*

Расчет производится по формуле

$$\rho_{w \text{ гидр}} = \frac{m_{\text{взд}}}{m_{\text{взд}} - m_{\text{вд}}} \rho_{\text{в}},$$

где  $\rho_{w \text{ гидр}}$  – плотность древесины, определенная методом гидростатического взвешивания, при влажности  $W$ , г/см<sup>3</sup> (с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>) или кг/м<sup>3</sup>;

$m_{\text{взд}} = m_w$  – масса образца древесины при взвешивании в воздухе, при влажности  $W$ , г или кг (определяется в работе 2);

$m_{\text{вд}}$  – масса этого же образца древесины при взвешивании в воде, г или кг.

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>.

Температура, °C	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Плотность воды, г/м <sup>3</sup>	998,86	998,68	998,49	998,29	998,08	997,86	997,62	997,38	997,13	996,86	996,59

Таблица 6 – Исходные данные и результаты расчета плотности мокрого образца древесины гидростатическим методом

Результаты взвешивания образца				Плотность	
$m_{\text{взд}}, \text{ г}$		$m_{\text{вд}}, \text{ г}$		$\rho_{w \text{ гидр}}, \text{ г/см}^3$	

Провести сравнение косвенных результатов определения плотности стереометрическим и гидростатическим методами (табл. 3 и 4).

## **РАБОТА 6. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон**

*Цель:* ознакомиться с методом определения прочности древесины при сжатии вдоль волокон.

*Аппаратура и материалы:*

- образцы комнатно-сухой древесины стандартной формы и размеров;
- штангенциркуль с точностью измерения до 0,1 мм;
- испытательная машина с максимальным усилием 50 000 Н и погрешностью измерения нагрузки не более 1%;
- приспособление для испытаний;
- аппаратура для определения влажности древесины (см. работу 2).

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон является наиболее характерным показателем механических свойств древесины, так как в изделиях древесина часто работает на сжатие.

Определение предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон производится в соответствии с ГОСТ 16483.10-73\*.

*Подготовка к испытанию*

Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон производится на образцах, изготовленных в форме прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и с высотой вдоль волокон 30 мм (рис. 3,а). На середине длины измеряют с точностью до 0,1 мм размеры поперечного сечения  $a$  и  $b$ .

*Проведение испытаний*

Образец нагружают равномерно с постоянной скоростью нагружения  $25000 \pm 5000$  Н/мин. или с постоянной скоростью перемещения нагружающей головки машины 4 мм/мин.

Испытание проводят до полного разрушения, т.е. до момента движения стрелки силоизмерителя в обратную сторону. По контрольной стрелке шкалы силоизмерителя отсчитывают максимальную нагрузку  $P_{max}$ , Н, с точностью до цены деления шкалы силоизмерителя.

После испытания обращают внимание на характер разрушения образца, который зависит от качества и состояния древесины. Образование складки разрушения свойственно образцам из древесины, обладающей достаточно высокой прочностью. У образцов рыхлой древесины прочность невысокая, поэтому чаще всего происходит смятие торцов (см. рис. 3,б).

После испытания определяется влажность древесины образца так, как указано во 2-й работе.

### Подсчет результатов испытаний

Предел прочности при сжатии вдоль волокон  $\sigma_w$  при влажности в момент испытаний  $W$  вычисляют с точностью до 0,5 МПа по формуле

$$\sigma_w = \frac{P_{max}}{ab},$$

где  $P_{max}$  - максимальная нагрузка, Н;

$a$  и  $b$  - размеры поперечного сечения образца, мм.

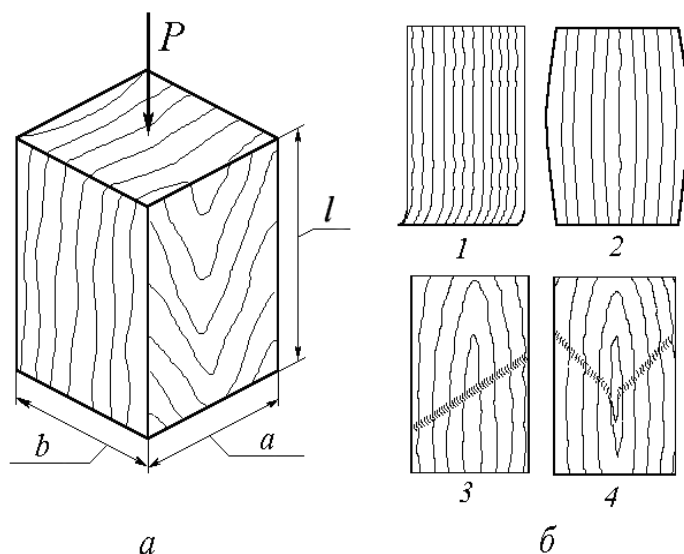


Рис. 3. Испытания древесины  
на сжатие вдоль волокон:

а - образец для испытаний; б - типичный вид разрушения

образца: 1 - смятие торцов,

2 - выпучивание боков, 3 - косая складка,

4 - встречная складка с расколом

Предел прочности  $\sigma_w$  образца с влажностью  $W$  в момент испытания пересчитывают к пределу прочности с влажностью 12% по формуле

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha (W - 12)],$$

где  $\alpha$  - поправочный коэффициент на влажность, равный 0,04 на 1% для всех пород;

$\sigma_w$  - предел прочности образца с влажностью  $W$  в момент испытания, МПа;

$W$  - влажность образца в момент испытания, %.

**Сделать вывод о влиянии влажности на прочность древесины при сжатии вдоль волокон.**

## РАБОТА 7. Определение предела прочности при статическом изгибе

*Цель:* ознакомиться с методом определения прочности древесины при статическом изгибе.

*Аппаратура и материалы:*

- образцы комнатно-сухой древесины стандартной формы и размеров;
- штангенциркуль с точностью измерения до 0,1 мм;
- испытательная машина с максимальным усилием 50 000 Н и погрешностью измерения нагрузки не более 1%;
- приспособление для испытаний;
- аппаратура для определения влажности древесины (см. работу 2).

Определение прочности древесины при статическом изгибе производится по ГОСТ 16483.3 "Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе".

Прочность древесины при статическом изгибе является одной из важнейших ее характеристик. Этот показатель широко используется в строительстве при расчетах сопротивлений изгибающим усилиям балок, брусьев, стропил.

*Подготовка к испытанию*

Предел прочности при статическом изгибе определяют на образцах, изготовленных в форме бруска с размерами 20х20х300 мм (300 мм по длине волокон).

На середине длины образца с точностью до 0,1 мм измеряется ширина  $b$  в радиальном и высота  $h$  в тангенциальном направлениях.

*Проведение испытаний*

Испытание образцов производят по схеме, указанной на рис.4.

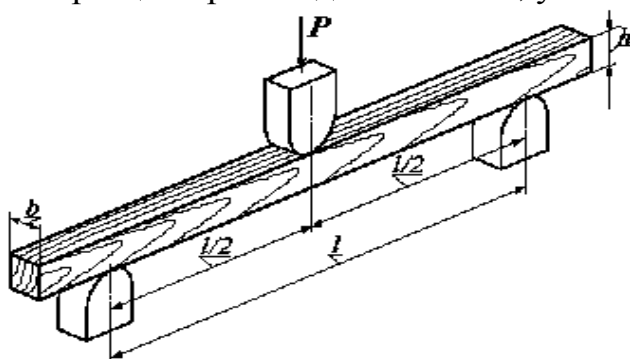


Рис. 4. Схема испытаний древесины на статический изгиб при нагружении в одной точке

Образец располагают на опорах так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям (изгиб тангенциальный), а нож и опоры должны быть симметричны относительно середины длины образца.

Образец нагружают равномерно, с постоянной скоростью перемещения нагружающей головки испытательной машины  $1350 \pm 150$  Н/мин или проводят испытания при скорости перемещения нагружающей головки 4 мм/мин.

Испытания доводят до разрушения образца и по показаниям контрольной стрелки на шкале силоизмерителя отсчитывают максимальную нагрузку  $P_{max}$ . Отмечают вид излома образца, который дает представление о качестве материала (рис. 5). Излом может быть гладким (при низком качестве древесины) или зацепистым (при высоком качестве древесины).

После испытания определяется влажность древесины образца так, как указано во 2-й работе.

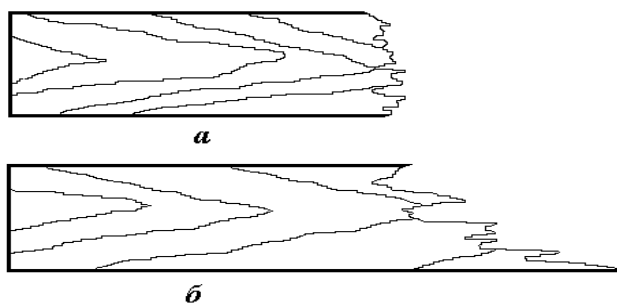


Рис. 5. Вид излома образца при изгибе:

а - гладкий,  
б - зацепистый

#### *Подсчет результатов испытаний*

Предел прочности при статическом изгибе с влажностью  $W$  в момент испытаний  $\sigma_w$ , МПа, вычисляется с точностью до 1 МПа по формуле:

$$\sigma_w = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{max} \ell}{bh^2},$$

где  $P_{max}$  - разрушающая нагрузка, Н;

$\ell$  - расстояние между центрами опор, мм, при стандартных испытаниях  $\ell=240$  мм;

$b$  - ширина образца, мм;

$h$  - высота образца, мм.

Предел прочности при статическом изгибе  $\sigma_w$  при влажности  $W$  в момент испытаний должен быть пересчитан к пределу прочности при влажности 12%. Пересчеты производятся по следующей формуле:

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha(W - 12)],$$

где  $\sigma_w$  - предел прочности образца при статическом изгибе с влажностью  $W$  в момент испытаний, МПа;

$W$  - влажность образца в момент испытания, %;

$\alpha$  - поправочный коэффициент на влажность, равный 0,04 на 1% для всех пород;

$\sigma_{12}$  - предел прочности при статическом изгибе с влажностью 12 %, МПа.

**Сделать вывод о влиянии влажности на прочность древесины при сжатии вдоль волокон.**



## РАБОТА 8. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон

*Цель:* ознакомиться с методом определения прочности древесины при скалывании вдоль волокон.

*Аппаратура и материалы:*

- образцы комнатно-сухой древесины стандартной формы и размеров;
- штангенциркуль с точностью измерения до 0,1 мм;
- испытательная машина с максимальным усилием 50 000 Н и погрешностью измерения нагрузки не более 1%;
- приспособление для испытаний;
- аппаратура для определения влажности древесины (см. работу 2 ).

Скалывание вдоль волокон является частным случаем сдвига древесины. Наблюдается в деревянных конструкциях, применяемых в строительстве, столярно-мебельных изделиях.

Определение прочности древесины на скалывание вдоль волокон производится в соответствии с ГОСТ 16483.5.

Для испытания на скалывание вдоль волокон используются образцы, которые с одной стороны имеют выступ (рис. 6). При радиальном скалывании плоскость разрушения располагается перпендикулярно направлению годичных слоев и параллельно направлению сердцевинных лучей, при тангенциальном – по касательной к годичным слоям и перпендикулярно направлению сердцевинных лучей.

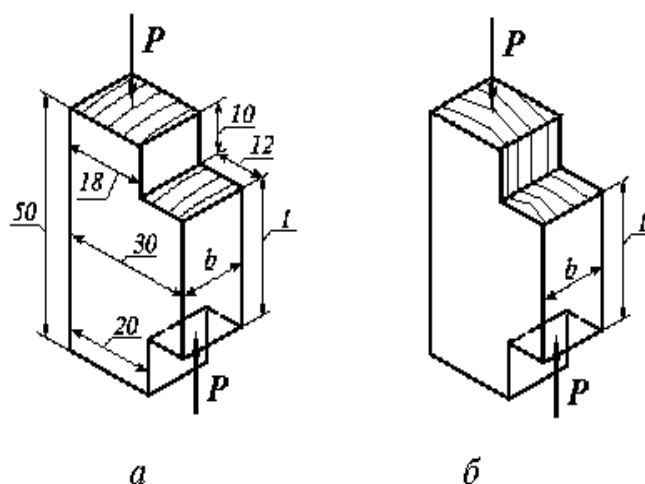


Рис. 6. Схема испытаний древесины на скалывание вдоль волокон:  
а - плоскость скалывания тангенциальная;  
б - плоскость скалывания радиальная

### *Подготовка к испытанию*

Перед испытанием толщину образца  $b$  и длину выступа  $\ell$  измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

### *Проведение испытаний*

Испытания образцов проводят в специальном приспособлении. Горизонтальная плоскость нижнего выреза образца опирается на поверхность приспособления, длинная часть образца опоры не имеет. Нагрузка на основную часть образца передается через нажимную опору. Приспособление с образцом ставят на опорную плиту машины так, чтобы верхняя торцовая поверхность длинной части образца находилась точно под нажимным приспособлением машины.

Образец нагружают равномерно в течение всего времени испытания со скоростью  $4000 \pm 1000$  Н/мин или при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины 4 мм/мин.

Испытания проводят до разрушения образца, максимальную нагрузку  $P_{max}$  определяют по контрольной стрелке силоизмерителя.

После испытания определяется влажность древесины образца так, как указано во 2-й работе.

### *Подсчет результатов испытаний*

Предел прочности древесины при скалывании  $\tau_w$ , МПа, при влажности образцов в момент испытаний  $W$ , %, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$\tau_w = \frac{P_{max}}{b\ell},$$

где  $P_{max}$  - максимальная нагрузка, Н;

$b$  - толщина образца, мм;

$\ell$  - длина скалывания, мм.

Приведение предела прочности  $\tau_w$  при влажности  $W$  в момент испытаний к пределу прочности при влажности 12% производят с точностью до 0,1 МПа по следующей формуле:

$$\tau_{12} = \tau_w [1 + \alpha(W - 12)],$$

где  $\tau_w$  – предел прочности образца с влажностью  $W$  в момент испытания, МПа;

$\alpha$  - поправочный коэффициент на влажность, равный 0,03 для всех пород;

$W$  - влажность образца в момент испытания, %.

**Сделать вывод о влиянии влажности на прочность древесины при скалывании вдоль волокон.**

## **РАБОТА 9. Изучение деформативности шпона при склеивании фанеры**

*Цель:* ознакомиться с видами деформаций древесины при склеивании фанеры методом горячего прессования, изучить влияние давления на деформативность шпона.

*Аппаратура и материалы:*

- листы шпона размером ~30x30 см разных пород и толщин;
- синтетическая смола и отвердитель, используемые при производстве фанеры;
- линейка с метрической шкалой;
- микрометр или штангенциркуль с погрешностью не более 0,01 мм;
- весы лабораторные с точностью взвешивания  $\pm 0,01$  г;
- весы технические с точностью взвешивания  $\pm 0,5$  г;
- посуда для приготовления клея;
- обрезиненный валик для нанесения клея на поверхность листов шпона;
- термометр для контроля температуры плит пресса;
- лабораторный пресс с обогреваемыми плитами.

Древесина является природным полимером, поэтому ее механические свойства изучаются с учетом реологии.

Под действием постоянной нагрузки непосредственно после ее приложения в древесине появляются упругие деформации, а с течением времени развиваются эластические и остаточные деформации. Упругие и эластические деформации - обратимы (они исчезают после снятия нагрузки в течение малого (упругие деформации) или более или менее длительного (эластические деформации) промежутка времени). Остаточные деформации являются необратимой частью общих деформаций, они остаются и после снятия нагрузки. Полная деформация включает упругие, эластические и остаточные деформации.

При склеивании фанеры пакет шпона под действием давления (а также высокой температуры при горячем прессовании) деформируется. Полная деформация наблюдается под давлением. Сразу после снятия давления деформация состоит из эластической и остаточной составляющей. По окончании периода релаксации (эластическая деформация восстанавливается за этот период) - деформация остаточная. Она необратима и называется упрессовкой

### Подготовка к испытанию

1. Скомплектовать по пакету заданной слойности (толщины). Толщину листов шпона в четырех точках измерить с помощью микрометра или штангенциркуля. Результаты измерений параметров, средние значения толщины каждого листа шпона, а также начальную толщину склеиваемых пакетов внести в таблицу отчета.
2. Определить потребность в клее по табл. 6 и приготовить клеевой раствор.
3. Определить параметры режима склеивания пакетов по табл. 7 (температура плит пресса, давление прессования, продолжительность выдержки пакетов шпона под давлением при склеивании). Произвести расчеты по определению величины манометрического давления.
4. Собрать пакеты для склеивания, контролируя фактический расход клея путем взвешивания пакетов до и после нанесения клея на шпон.

### Проведение испытаний

1. Провести склеивание пакетов в лабораторном прессе согласно принятым технологическим режимам, измерив толщину пакета под давлением.
2. Произвести замеры толщины фанеры сразу после склеивания в горячем прессе, внести результаты в табл. 7 отчета.
3. Повторно произвести замеры толщины фанеры после технологической выдержки, внести результаты в таблицу отчета.
4. Рассчитать величину полной, остаточной (упрессовка) и эластической (восстановимой) деформаций шпона при склеивании фанеры.

Таблица 7 – Размерные параметры пакета шпона и фанеры

№ листа шпона в пакете										Толщина пакета в точках (суммарная толщина шпона), мм, $\Sigma T_i$	Толщина пакета шпона под давлением в прессе, мм, $T_d$	Толщина фанеры в точках сра- зу после прессова- ния, мм, $T_{пп}$	Толщина фанеры в точках после вы- держки, мм, $T_{\phi}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Толщина ли- стов шпона в	1												
точках, мм,	2												
$T_i$	3												
	4												
Средняя толщина пакета шпона или фа- неры по четырем точкам, мм													

### Расчет деформаций

Полная деформация

$$\varepsilon_n = \frac{\Sigma T_i - T_o}{\Sigma T_i} 100.$$

Суммарная эластическая и остаточная деформации

$$\varepsilon_{\text{зо}} = \frac{\sum T_i - T_m}{\sum T_i} 100.$$

Остаточная деформация (упрессовка)

$$\varepsilon_n = \frac{\sum T_i - T_{\phi}}{\sum T_i} 100.$$

**Сделать вывод о влиянии температуры и/или породы на деформативность древесины и величину остаточной деформации.**

*Предварительные расчеты и выбор параметров, обеспечивающих проведение работы*

Расход карбамидо-формальдегидного клея определяется по табл. 8.

Таблица 8 – Расход клея при контактном способе нанесения

Порода древесины	Толщина шпона, мм	Норма расхода клея на 1 м <sup>2</sup> намазываемой поверхности, г
Лиственная	До 2	100-110
	2 и более	110-120
Хвойная	До 2	110-120
	2 и более	120-130

Выбор параметров режима склеивания зависит от толщины и слоистости пакета, породы древесины, марки и состава клея (табл. 9).

Таблица 9 – Режимы склеивания фанеры

Толщина фанеры, мм	Режимы склеивания шпона					
	Слоистость фанеры (количество листов шпона в пакете)	Толщина пакета, мм	Температура плит пресса, °С	Давление при склеивании, МПа	Продолжительность склеивания, мин.	Продолжительность снятия давления, мин.
<i>Из древесины березы и других лиственных пород</i>						
5	4-5	10,5-11,5	115-120	1,8-2	5,5-4,0	1,5
8	5-7	8,75-9,0	110-115	1,8-2,0	6,0-4,0	2,0
9	7	9,7-9,9	110-115	1,8-2,0	6,5-4,0	2,0
<i>Из древесины сосны и других хвойных пород</i>						
8	5	9,0-9,8	110-115	1,5-1,7	5,0-4,0	2,0
9	5	10,2-11,0	110-115	1,5-1,7	5,5-4,5	3,0
10	5	11,4	110-115	1,5-1,7	6,0-4,5	3,0

Рабочее давление на пакет должно быть достаточным для обеспечения полного контакта склеиваемых поверхностей листов шпона. Контроль величины давления осуществляется с помощью манометра, встроенного в гидравлическую систему пресса (контролируется давление масла на плунжер пресса). Пересчет рабочего давления на манометрическое производится по формуле

$$P_m = \frac{P_{\text{раб}} ab}{0,25\pi d_n^2 n_n k_n},$$

где  $P_{\text{раб}}$  – принятое рабочее давление на склеиваемый пакет, МПа;  
 $a, b$  – длина и ширина склеиваемого пакета, м;  
 $d_n$  – диаметр плунжера пресса, м ( $d_n = 0,16$  м);  
 $n_n$  – количество плунжеров в прессе, шт. ( $n_n=1$ );  
 $k_n$  – коэффициент, учитывающий потери технического характера,  
 $k_n=0,9$ .

Фактический расход клея на единицу площади склеиваемой поверхности в  $\text{г/м}^2$ , определяется по формуле

$$P_\phi = \frac{M_\kappa - M_0}{ab(n-1)},$$

где  $M_0$  – масса пакета шпона без клея, г;  
 $M_\kappa$  – масса пакета шпона с клеем, нанесенным на шпон, г;  
 $a$  и  $b$  – длина и ширина листов шпона, м;  
 $n$  – количество листов шпона в пакете, шт.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Работа 1	Определение числа годовичных слоев в I см и содержания поздней древесины в годовичном слое . . .	3
Работа 2	Определение влажности древесины прямым и косвенным методами . . . . .	6
Работа 3	Определение влажностных деформаций древесины (усушки и коэффициентов усушки). . . . .	9
Работа 4	Определение плотности древесины стереометрическим методом . . . . .	13
Работа 5	Определение плотности древесины гидростатическим методом . . . . .	17
Работа 6	Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон . . . . .	19
Работа 7	Определение предела прочности при статическом изгибе . . . . .	21
Работа 8	Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон . . . . .	24
Работа 9	Изучение деформативности шпона при склеивании фанеры . . . . .	26